

УДК 004.942+523.982.8

ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СРЕДСТВА НЕЧЕТКОГО ИНДУКТИВНОГО РАССУЖДЕНИЯ К ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Гусев А. А., Швецова Н. А., Волошин А. Э., Яковенко Н. А.

THE STUDY OF THE APPLICABILITY OF THE TOOL FOR FUZZY INDUCTIVE
REASONING TO THE PROBLEM OF SOLAR ACTIVITY PREDICTION

Gusev A. A. *, Shvetsova N. A. *, Voloshin A. E. **, Yakovenko N. A. *

* Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

** Construction Bureau "Selena", Krasnodar, 350072, Russia

e-mail: gusev@ftf.kubsu.ru

Abstract. The accumulation of large amounts of data in a variety of domains creates a demand for the development of the new tools for data processing and forecasting for decision support. The article is devoted to the developed by the authors tool for fuzzy inductive models construction. The tool is a cross-platform, standalone program which implements the fuzzy inductive reasoning methodology (FIR) for model creation. Authors explored the applicability of the tool for prediction nature of the 22-year cycle of solar activity. The input data for the inductive model construction were the Wolf number time series. Authors created the model with the tool; estimated the model against the control sample and got the forecast for the cycle's nature till 2030. The forecast matches the theory of age-long cycles of solar activity. Further study will be focused on elaboration of the constructed model with the final aim of obtaining, with the using of the tool, a set of inductive models for application in different domains.

Keywords: general systems theory, decision support, forecasting, data mining, fuzzy inductive reasoning, solar activity, Hale cycle.

Введение

Накопление больших массивов данных о природных и рукотворных объектах в различных предметных областях создает возрастающий спрос на компьютерные технологии индуктивного моделирования исследуемых объектов в целях прогнозирования и поддержки принятия управленческих решений.

Методологической базой для создания подобных технологий выступают как традиционные методы статистики и прикладной математики — регрессионный анализ, факторный анализ, интерполяционные модели и др., так и методы и технологии искусственного интеллекта — генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети, нечеткие и нейро-нечеткие модели, методы интеллектуального

анализа изображений и различные комбинации этих и ряда других подходов.

Принимая во внимание широкий диапазон применения искусственного интеллекта, отбор используемых технологий моделирования систем должен, на наш взгляд, осуществляться по критериям универсальности способов построения индуктивных моделей, независимости процедуры обработки данных от существенных особенностей предметной области, возможности учета междисциплинарных аналогий.

Одним из направлений, отвечающих перечисленным критериям, является системология [1] — научное направление, развиваемое профессором университета Штата Нью-Йорк Джорджем Клиром и его последователями. Системология ставит своей целью унифика-

Гусев Александр Алексеевич, аспирант кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: gusev@ftf.kubsu.ru.

Швецова Наталия Анатольевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической физики и компьютерных технологий Кубанского государственного университета; e-mail: shvetsna@phys.kubsu.ru.

Волошин Андрей Эдуардович, генеральный директор АО «Конструкторское бюро „Селена“»; e-mail: mail@kbselena.ru.

Яковенко Николай Андреевич, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: dean@phys.kubsu.ru.

цию семантики и логики общесистемных понятий и выработку универсальных процедур компьютерной обработки данных о динамических системах.

Нечеткое индуктивное рассуждение является методом индуктивного моделирования, используемым в системологии. Подробное описание метода приведено в [2].

Несмотря на хорошие результаты [3, 4] применения метода в моделировании сложных динамических систем, до сих пор отсутствует независимое от сторонних математических пакетов кросс-платформенное инструментальное средство для создания моделей нечеткого индуктивного рассуждения.

Актуальность разработки такого средства обусловлена потребностью в применении метода в новых предметных областях, а также на различных программно-аппаратных платформах.

Целью данной публикации является исследование применимости разработанного авторами инструментального средства нечеткого индуктивного рассуждения AimDSS [5] к прогнозированию 22-летнего цикла солнечной активности (цикла Хейла) по ряду значений чисел Вольфа.

Достижение цели исследования предполагает решение следующих задач:

- 1) выбор массива исходных данных солнечной активности, предварительная обработка данных и определение обучающей и контрольной выборки;
- 2) определение параметров AimDSS, обеспечивающих наивысшую точность прогнозирования;
- 3) прогнозирование солнечной активности с помощью AimDSS и анализ полученных результатов.

Модель

Для создания нечеткой индуктивной модели цикла Хейла в качестве обучающей выборки использовались данные по среднегодовым числам Вольфа с 1700 по 1985 гг. Выбор столь большого диапазона входных данных обусловлен необходимостью обучить алгоритм не только 22-летним, но и вековым закономерностям, присутствующим в данных солнечной активности.

В качестве проверочной выборки были взяты среднегодовые значения чисел Вольфа с 1986 по 2008 гг. Обе выборки были полу-

чены из Королевской обсерватории Бельгии (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels) [6].

Значения обучающей выборки принадлежали диапазону $[0; 269,3]$. Столь большая амплитуда входных значений требовала использования сравнимого большого количества категорий нечеткого индуктивного рассуждения.

Кластеризация данных обучающей выборки была выполнена программой AimDSS автоматически, центроидным методом. В результате кластеризации были получены 111 категорий нечеткого индуктивного рассуждения.

На этапе идентификации модели программой AimDSS была найдена оптимальная маска глубины 4 и сложности 4, соответствующая уравнению

$$y = f(y(t - \delta t), y(t - 2\delta t), y(t - 3\delta t)),$$

где y — моделируемое значение среднегодового числа Вольфа, f — создаваемое программой на основе паттерновой базы правил качественное отношение, t — временной параметр, соответствующий году наблюдения, δt — 1 год для данного набора наблюдений.

На рис. 1 представлены результаты моделирования в программе AimDSS цикла Хейла 1986–2008 гг. против проверочной выборки.

Используя ту же маску, получили прогноз (рис. 2) следующего цикла Хейла 2008–2030 гг. на основе данных по среднегодовым числам Вольфа с 1700 по 2007 гг. из [6].

Полученный график имеет локальный минимум в области 13 записи прогноза, соответствующей 2021 г. и локальный максимум в области 18 записи, соответствующей 2026 г. Данный максимум будет отличаться меньшей интенсивностью, нежели предыдущий пик солнечной активности, пришедшийся на 2014 г. Отметим, что убывание интенсивности максимумов солнечной активности в первой половине XXI согласуется с теорией вековых циклов солнечной активности Гляйсберга.

Заключение

В работе исследована применимость инструментального средства для построения моделей нечеткого индуктивного рассуждения AimDSS к предсказанию динамики 22-летнего цикла солнечной активности (цикла Хейла) по данным среднегодовых чисел Вольфа.

Получены следующие результаты:

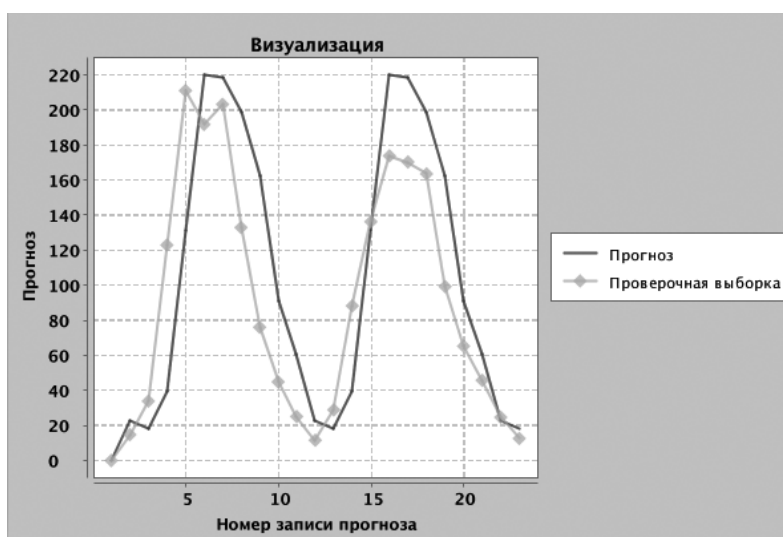


Рис. 1. Результаты моделирования цикла Хейла 1986–2008 гг.

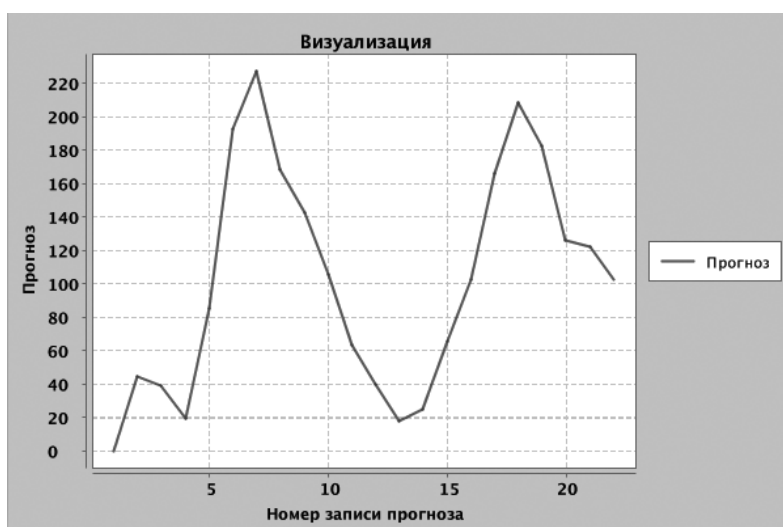


Рис. 2. Результаты прогнозирования цикла Хейла 2008–2030 гг.

- подтверждена применимость AimDSS к моделированию солнечной активности на данных предыдущего цикла Хейла, 1986–2008 гг.;
- составлен прогноз развития нынешнего цикла Хейла до 2030 г.;
- обнаружено соответствие прогноза теории вековых циклов солнечной активности.

Дальнейшее изучение будет направлено на совершенствование предсказательной силы используемой методики, для чего будет изучаться эффект ввода в модель нечеткого индуктивного рассуждения дополнительных входных переменных: напряженности поляр-

ного магнитного поля Солнца, числа солнечных вспышек, корональных дыр, потока высокоэнергичных электронов и др. параметров.

Конечной целью является разработка с помощью AimDSS семейства нечетких индуктивных моделей для интеллектуального анализа данных и прогнозирования в различных предметных областях.

Литература

1. Кларк Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 544 с.
2. Cellier F. E. Publications related to Fuzzy Inductive Reasoning. Режим доступа: <https://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/>

- Pubs/FIR/Pubs_fir_index_engl.html (дата обращения 1.11.2016).
3. Escobet A., Nebot A., Mugica F. Fuzzy fault diagnosis in fuel cell power systems // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2014. № 36. С. 40–53.
 4. Nebot A., Mugica F. Fuzzy Inductive Reasoning: a consolidated approach to data-driven construction of complex dynamical systems (Invited overview paper) // *International Journal of General Systems*. 2012. № 41. Iss. 7. P. 645–665.
 5. вид. 2016610899 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа принятия управленческих решений “AimDSS” / А.А. Гусев, Н.А. Швецова; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО КубГУ (RU). №2015661290; заявл. 23.11.15; опубл. 21.01.16, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
 6. Sunspot Index and Long-term Solar Observations. WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels. Режим доступа: <http://www.sidc.be/silso/datafiles> (дата обращения 1.11.2016).
- ### References
1. Klir G. J., Elias D. *Architecture of systems problem solving*, 2nd ed. New York, Plenum Publishers, 2003, 349 p.
 2. Cellier F.E. *Publications related to Fuzzy Inductive Reasoning*. Available at: https://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/Pubs/FIR/Pubs_fir_index_engl.html
 3. Escobet A., Nebot A., Mugica F. Fuzzy fault diagnosis in fuel cell power systems *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2014, no. 36, pp. 40–53.
 4. Nebot A., Mugica F. Fuzzy Inductive Reasoning: a consolidated approach to data-driven construction of complex dynamical systems (Invited overview paper) *International Journal of General Systems*, 2012, no. 41, iss. 7, pp. 645–665.
 5. Gusev A.A., Shvetsova N.A. *Program for management decision-making “AimDSS”*, Certificate of State Registration for Computer Program no. 2016610899 Russian Federation.
 6. Sunspot Index and Long-term Solar Observations. WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels. Available at: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.